

УДК 621.923.42

В.В. Кальченко, д-р техн. наук, В.І. Венжега, канд. техн. наук,  
О.О. Литвин, Д.В. Кальченко, Чернігів, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ШТОВХАЧА З РІЗНИМИ ДІАМЕТРАМИ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГІВ З ПЛОСКИМИ ТОРЦЯМИ ТА ДЕТАЛЕЙ

*Запропоновано тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при двосторонньому торцевому шліфуванні штовхачів, що не обертаються та обертаються під час шліфування. Обробка деталей виконується орієнтованими шліфувальними кругами. Після входу однієї деталі в зону обробки наступна повинна входити з обернено орієнтованими торцями для забезпечення урівноваження сил різання та високої точності обробленої поверхні. Наведено розрахунок сил різання при шліфуванні торців штовхачів.*

**Ключові слова:** моделювання інструментів, двостороннє торцеве шліфування

*Предложено трехмерное геометрическое моделирование инструментов, процесса снятия припуска и формообразования при двустороннем торцевом шлифовании толкателей, которые не вращаются и вращаются во время шлифования. Обработка деталей выполняется ориентированными шлифовальными кругами. После входа одной детали в зону обработки следующая должна входить с обратно ориентированными торцами для обеспечения уравнивания сил резания и высокой точности обработанной поверхности. Приведен расчет сил резания при шлифовании торцов толкателей.*

**Ключевые слова:** моделирование инструментов, двустороннее торцевое шлифование

*The three-dimensional geometric modeling of tools, the process of pulling off and forming in the two-way end grinding of non-rotating and rotating pushers during grinding are proposed. The machining of parts is done by oriented grinding wheels. Following the entry of one part in the processing area, the next should come with inversely oriented ends to ensure the balance of the cutting forces and the high accuracy of the treated surface. The calculation of cutting forces when grinding the ends of pushers is given.*

**Keywords:** modeling of tools, two-way end grinding

В сучасних умовах розвитку автомобілебудування та машинобудування, отримання високоточних деталей пов'язане з високими вимогами до точності деталей та їх продуктивності шліфування із широким застосуванням сучасних технологій механічної обробки. У значній мірі, це відноситься до обробки деталей з високими вимогами до точності торцевих поверхонь, таких як, штовхачі, клапани, та ін.

Одним із найефективніших способів шліфування торцевих поверхонь деталей є шліфування на двосторонньому торцешліфувальному верстаті. Якщо порівнювати обробку торцевих поверхонь на двосторонньому торцешліфувальному верстаті, та односторонньому торцешліфувальному

верстаті, то більш високоефективним є двосторонній торцешліфувальний верстат.

Для кращої відповідності високим критеріям обробки деталей, є за потрібне, розробка взаємопов'язаної модульної 3D-моделі інструментів та формоутворення, що описує процес двостороннього шліфування торцевих поверхонь штовхачів, орієнтованими шліфувальними кругами. Проведено дослідження процесу шліфування торців штовхачів, способу кріплення штовхачів, виконано 3D-моделювання. Все це створює передумови для створення нових високоефективних технологій та способів шліфування торців деталей та їх подальшому впровадженню у виробничі процеси на промисловості. Зокрема, збільшення точності, якості і продуктивності обробки деталей, здійснюється через вдосконалення способів двостороннього шліфування торців штовхача з різними діаметрами зі схрещеними осями кругів з плоскими торцями та деталей.

При цьому, дуже важливо мати у розпорядженні математичні моделі основних параметрів процесу обробки деталі та інструменту, що дозволить більш обґрунтовано, з точки зору наукового підходу, створювати та ефективніше керувати процесом обробки деталей. В такому випадку добре представлене модульне 3D-моделювання двостороннього торцевого шліфування деталей з циліндричними торцевими поверхнями в роботах [1, 2].

Багато з провідних компаній світу, зокрема, Saturn (Німеччина) [3] виконують обробку деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, шліфування відбувається з невеликим нахилом шліфувальних кругів в одній площині, що потребує декілька проходів, при обробці торців різного діаметру та потребі зняття великих припусків.

Розрахунки сил різання при двосторонньому шліфуванні торців деталей та обробці циліндричних деталей орієнтованими шліфувальними кругами представлено в роботах [4-11].

Можемо також відмітити, що в цих роботах не розглядається загальна модульна 3D-модель двостороннього торцевого шліфування штовхачів, що не обертаються та обертаються під час обробки. Не досліджено вплив способу фіксації штовхачів на барабані, їх порядок відносно чергування більшого та меншого діаметрів торців на геометричну точність формоутворення оброблюваних поверхонь.

Мета даної роботи полягає у створенні модульної 3D-моделі, процесів зняття припуску та формоутворенні торцевих поверхонь деталей, розрахунку сил різання, усуненні дії сил, що призводять до імпульсів на барабані та торці деталей при обробці. Що дозволить більш якісно проаналізувати процеси зняття припуску та формоутворення, розробити нові та вдосконалити існуючі способи, а також на їх базі розробити високоефективні технології шліфування торцевих поверхонь штовхачів, клапанів та ін.

На рис. 1 зображено розрахункову схему шліфування торцевих поверхонь штовхачів на двосторонньому торцешліфувальному верстаті. Шліфувальні круги 1, 7, втулки 2, 4. Деталі 3, 5 подаються в зону обробки за допомогою барабана подачі виробів 6. Перед обробкою шліфувальний круг правлять.

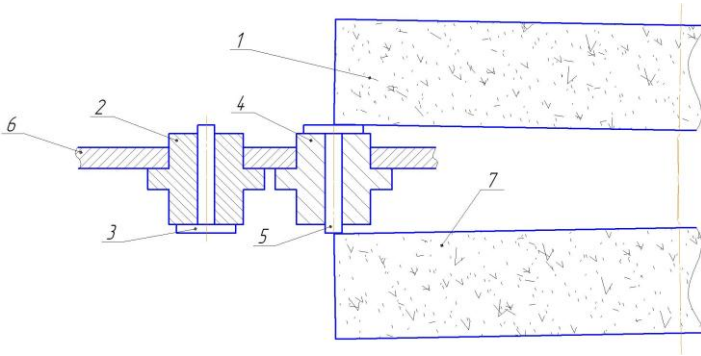


Рисунок 1 – Розрахункова схема формоутворення торців штовхачів

Формоутворення торцевої поверхні деталі при обробці шліфувальним кругом з плоскою торцевою поверхнею здійснюється максимальним діаметром, радіус-вектор якого описується рівнянням:

$$R_{instr}(\theta p, \theta) := C(0, \theta, 0) \cdot So(-Xc, \varphi, \psi) \cdot P(0, Yc, Xc) \cdot C(Zc, -\theta p, Rb) \cdot e4 \quad (1)$$

де  $C(Zc, -\theta p, Rb)$  – циліндричний модуль інструментальної поверхні;  $P(0, Yc, Xc)$  – прямокутний модуль переносу;  $So(-Xc, \varphi, \psi)$  – сферичний модуль орієнтації;  $C(0, \theta, 0)$  – циліндричний модуль формоутворення;  $\psi, \varphi$  – кути повороту шліфувального круга;  $Xc, Yc, Zc$  – розміри розташування сферичного шарніра;  $\theta, \theta p$  – параметри поверхні ріжучого інструмента;  $Rb$  – радіус розташування деталей в барабані подачі виробів.

Остаточна точність торцевих поверхонь деталей формується колом найбільшого радіуса.

Радіус-вектор поверхні деталі:

$$R_{det}(\theta o, \theta p, \theta) := C(0, \omega, 0) \cdot C_t(-Rb, \theta o, 0) \cdot P(-Zc, -Yc, -Xc) \cdot S(-\varphi, -\psi, Xc) \cdot R_{instr}(\theta p, \theta) \quad (2)$$

де  $So(-\varphi, -\psi, Xc)$  – сферичний модуль орієнтації;  $P(-Zc, -Yc, -Xc)$  – прямокутний модуль переносу;  $C_t(-Rb, \theta o, 0)$  – циліндричний модуль формоутворення;  $C(0, \omega, 0)$  – циліндричний модуль, що відповідає за

орієнтацію деталі відносно напрямку подачі;  $\omega$  – обертання деталі;  $\theta_0$  – кутова координата положення заготовки відносно системи координат круга.

Радіус-вектор кола найбільшого  $R_{\max}$  радіуса:

$$R_{\max}(\theta) := C(Z_{\max}, \theta, R_{\max}) \cdot e^4, \quad (3)$$

де  $R_{\max}$  – максимальний радіус шліфувального круга;  $\theta$  – кутовий параметр шліфувального круга;  $Z_{\max}$  – максимальне значення висоти шліфувального круга, мм.

Рівняння однопараметричного огинання має вигляд:

$$\frac{\partial \bar{R}_{\det}}{\partial \theta} \times \frac{\partial \bar{R}_{\det}}{\partial \theta_k} \cdot \frac{\partial \bar{R}_{\det}}{\partial \theta_o} = 0. \quad (4)$$

На рис. 2, а зображено відхилення від площинності торця штовхача при обробці шліфувальним кругом з плоскою торцевою поверхнею.

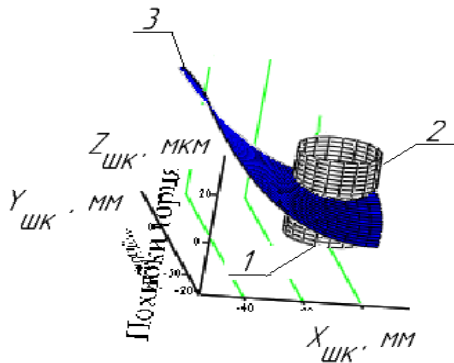


Рисунок 2 – Точність формоутворення торця штовхача при обробці шліфувальним кругом без калібруючої ділянки

На рис. 3 наведено графік похибки формоутворення торця штовхача діаметром 28 мм (рис. 3) по контуру, де при обробці деталь фіксується та не обертається під час шліфування.

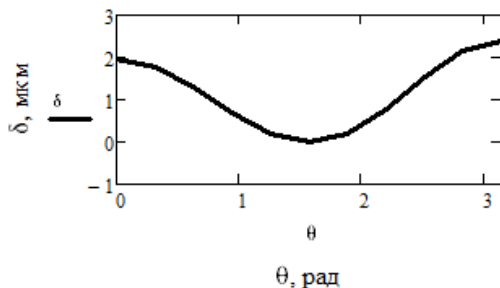


Рисунок 3 – Геометрична похибка формоутворення торців штовхачів

Як видно з рис. 3, величина похибки формоутворення збільшується зі збільшенням діаметра торців оброблюваної деталі.

На рис. 1 зображено спосіб фіксації штовхача 3, 5 в барабані подачі виробів 6 двостороннього торцешліфувального верстата при обробці орієнтованими шліфувальними кругами 1, 7 з плоскими торцевими поверхнями. Штовхачі 3, 5 (рис. 1) фіксуються за допомогою втулок 2, 4, вони дозволяють деталям обертатись, що підвищує точність формоутворення.

При обробці на двосторонньому торцешліфувальному верстаті торцевих поверхнь штовхача, що не обертатється під час обробки (рис. 3) та обертатється діаметром 28 мм (рис. 4), шліфувальними кругами з плоскими торцевими поверхнями.

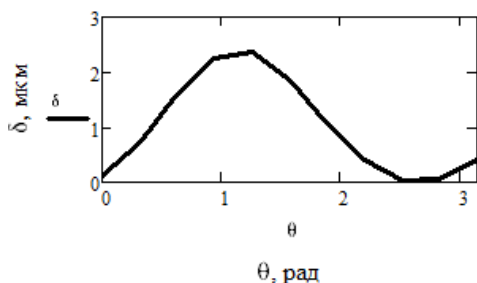


Рисунок 4 – Геометрична похибка формоутворення торців штовхачів (з обертанням)

На рис. 6 та рис. 7 зображено графіки залежності похибки формоутворення торця штовхача діаметром 8 мм, що не обертатється (рис. 6) та обертатється (рис. 7) під час обробки.

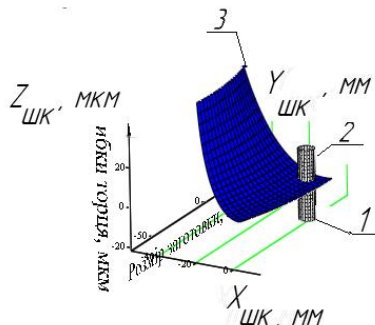


Рисунок 5 – Точність формоутворення торця штовхача діаметром 8мм.

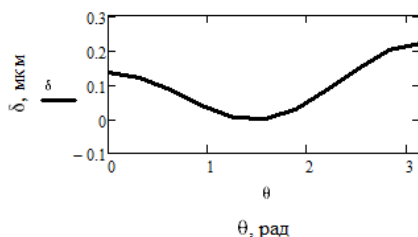


Рисунок 6 – Похибка формоутворення торця штовхача по координаті обробки

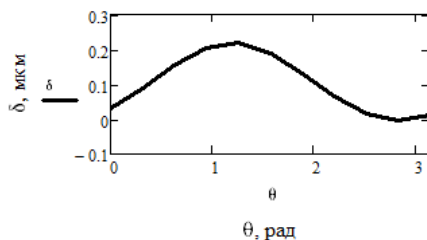


Рисунок 7 – Похибка формоутворення торця штовхача по координаті обробки (з обертанням)

Як видно з графіків (рис. 6 та 7) для торця діаметром 8 мм, під час обертання точність формоутворення більша.

Сили, які виникають при шліфуванні торцевих поверхонь, визначаються згідно робіт [9, 10].

Сили різання можна визначити за допомогою експериментально визначеної потужності за формулою [11]:

$$P_{z_i} = \frac{Np_{z_i}}{V_i}, \quad (6)$$

де  $Np_{z_i}$  – потужність шліфування торців деталей;

$V_i$  – швидкість різання, яка визначається з рівняння (7).

$$V_i = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (7)$$

де  $D_i$  – діаметр розташування центра деталі на поверхні шліфувального круга;

$n$  – частота обертання шліфувального круга.

Визначена експериментально активна потужність при шліфуванні зображена на рис. 8.

На рис. 8 зображено графік активної потужності, яка витрачається на шліфування торця штовхача.

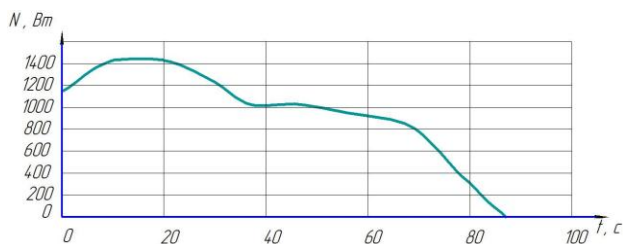


Рисунок 7 – Активна потужність

З виразу (6) визначимо сили різання та побудуємо графік залежності сили  $P_z$  від часу  $t$  (рис. 9).

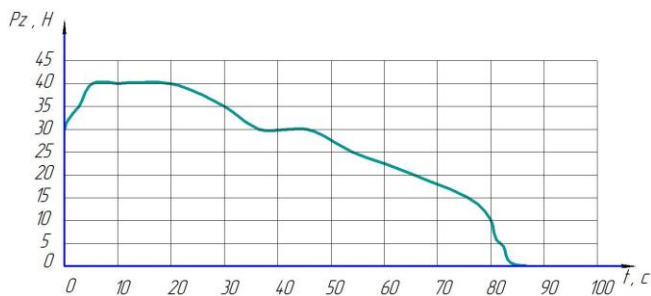


Рисунок 9 – Сила різання  $P_z$

При вході деталі в зону обробки виникає перехідний процес [12], що призведе до збільшення похибки обробки деталі, що виходить з зони обробки, тому потрібно уникати одночасного входу однієї деталі в зону обробки та виходу іншої. Під час входу деталі в зону обробки, формоутворення деталі на виході з зони обробки не повинно здійснюватися. Тому в зоні шліфування доцільна обробка парної кількості деталей, що забезпечить циклічність процесу. Невелика відстань між отворами в барабані, дозволить скомпенсувати ударні навантаження за рахунок чергування великих та малих діаметрів торців штовхачів.

### Висновок

Запропоновано модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь деталей. Зроблено розрахунок точності формоутворення торців штовхачів, що не обертаються та обертаються під час обробки.

Проведено дослідження процесу шліфування торців штовхачів, способу кріплення штовхачів, виконано 3D-моделювання впливу способу фіксації штовхачів в барабані подачі виробів, на геометричну точність формоутворення. При кріпленні штовхачів нерухомо у втулках забезпечується підвищення симетричності торців, але збільшується геометрична похибка формоутворення. При обертанні деталей під час обробки геометрична точність формоутворення буде більше.

Також запропоновано розташовувати кріплення деталей в барабані подачі виробів по чергово встановлюючи менший та більший діаметри, що дозволить забезпечити високу точність формоутворення, продуктивність та ефективність обробки деталей. Все це створює передумови для створення нових високоефективних технологій та способів шліфування торців деталей та їх подальшому впровадженню у виробничі процеси на промисловості.

**Список використаних джерел:** 1. *Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В.* Шлифование со скрещающимися осями инструмента и детали (Монография). – Чернигов: ЧГТУ, 2009. – 356 с. 2. *Кальченко В.В.* Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та деталі // Дисертація докт. техн. наук. Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – 489 с. 3. *Satum.* Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrath, Germany, 2005 – 8 с. 4. *Кальченко В.И., Погиба Н.Н., Кальченко Д.В.* Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным элборовым кругом // Сверхтвердые материалы: научно- теоретический журнал, 2012. – №2(196). – С. 58-73. 5. *Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko and others* Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece // Acta mechanica et automatica, 2017. – vol.11 no.1. – pp. 58-63. 6. *Шахновский, С.С.* Силы при двустороннем торцешлифовании // Станки и инструмент. 1973. – № 1. – С. 20-21. 7. *Вайнер Л. Г.* Моделирование сил резания и характеристик съема припуска при двустороннем шлифовании торцов одиночной заготовки / *Л.Г. Вайнер* // Новые материалы и технологии в ма- шиностроении. Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Вып. 14.



- Брянск: БГИТА, 2011. – С. 14-17. **8.** Каминская В.В., Вайнер Л.Г. Расчетное определение сил резания при обработке торцов роликов на двухстороннем торцешлифовальном станке. – Повышение эффективности использования технологического оборудования, гибких автоматизированных станочных комплексов: Тез. докл. науч.- техн. конф. – Комсомольск на Амуре: ХЦНТИ, 1985, с. 12-13. **9.** Кальченко В.І., Кальченко В.В., Следнікова О.С. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Черкаси: ЧДТУ, – 2016. – №4(2016). С. 72-82. **10.** Филимонов Л.Н. Плоское шлифование / Л.Н. Филимонов – Л.: Машиностроение, 1985. – 109 с. **11.** Кальченко В.І., Венжсга В.І. і ін. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей // Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів: Чернігів. нац. технол. ун-т. – 2016. – № 4 (6). – С. 25-34. **12.** Кудинов, В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с. *Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko and others Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece // Acta mechanica et automatica*, 2017. – vol.11 no.1. – pp. 58-63. **13.** Кальченко В.І., Кальченко В.В. і ін. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі // «Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки» – Черкаси: ЧДТУ, 2016. – №4/2016. – С. 80-88. **14.** Кальченко В.І., Кальченко В.В. і ін. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу круга, точності формоутворення та теплонапруженості при шліфуванні циліндричних та ступінчатих валів зі схрещеними осями деталі та круга // Технічні науки та технології: науковий журнал. / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – №4(6). – С. 35-43. **15.** Горелов В.А. Исследование сил резания в процессе шлифования титанового сплава ВТ3-1 / В.А. Горелов, М.В. Жуплов, Д.М. Фадин, М.Г. Яковлев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2012. – №1. – С. 73–77. **16.** Братан С.М. Разработка математической модели, учитывающей влияние отклонения профиля инструмента на динамику процесса врезного комбинированного шлифования / С.М. Братан, Д.А. Каинов, Н.А. Минаев // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2010. – Вип. 111. – С. 17–25. **16.** Горелов, В.А. Исследование сил резания в процессе шлифования титанового сплава ВТ3-1 / В.А. Горелов, М.В. Жуплов, Д.М. Фадин, М.Г. Яковлев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2012. – №1. – С. 73–77. **17.** Долматов, А.И. К вопросу формализации абразивного инструмента при получении аналитических зависимостей для расчета функциональных характеристик процесса шлифования / А.И. Долматов, С.Н. Нижник, М.А. Курин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – №2. – С. 31–35. **18.** Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko and others Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece // Acta mechanica et automatica, 2017. – vol.11 no.1. – pp. 58-63. **19.** Кальченко В.І., Кальченко В.В. і ін. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі // «Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки» – Черкаси: ЧДТУ, 2016. – №4/2016. – С. 80-88. **20.** Кальченко В.І., Кальченко В.В. і ін. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу круга, точності формоутворення та теплонапруженості при шліфуванні циліндричних та ступінчатих валів зі схрещеними осями деталі та круга // Технічні науки та технології: науковий журнал. / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – №4(6). – С. 35-43.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Grabchenko A.I., Kalchenko V.I., Kalchenko V.V. Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali . – Chernigov: ChGTU, 2009. – 356 s. **2.** Kalchenko V.V. Naukovi osnovy efektyvnoho shlifuvannia zi skhreshchenymy osiamy abrazyvnoho instrumentu ta detali // Dysertatsiia dokt. tekhn. nauk. Kharkiv: NTU «KhPI». – 2006. – 489 s. **3.** Saturn. Tortevoe shlifovanie sparennymi shlifoval'nymi krugami: [Zhurnal dlja klientov firmy «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 s. **4.** Kalchenko V.I., Pogiba N.N., Kalchenko D.V. Opredelenie

sostavliaiushchikh sily rezanii pri glubinnom shlifovanii poverkhnostei vrashcheniia orientoivannym elborovym krugom // Sverkhverdnye materialy: nauchno- teoreticheskii zhurnal, 2012. – №2(196). – S. 58-73. **5.** Kalchenko V.V., Yeroshenko A.M., Boiko S.V. & Sira N.M. (2017) Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece. Acta mechanica et automatica, vol.11 no.1. – pp. 58-63. **6.** Shakhnovskii, S.S. Sily pri dvustoronnem torteshlifovanii // Stanki i instrument. 1973. -№ 1. - S. 20 – 21. **7.** Vainer L. G. Modelirovanie sil rezanii i kharakteristik sema pripuska pri dvustoronnem shlifovanii tortcov odinodnoi zagotovki / L.G. Vainer // Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii. Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Vypusk 14. - Briansk: BGITA, 2011.-S. 14-17. **8.** Kaminskaia V.V., Vainer L.G. Raschetnoe opredelenie sil rezanii pri obrabotke tortcov rolikov na dvukhshtonnom torteshlifovalnom stanke. - Povyshenie effektivnosti ispolzovaniia tekhnologicheskogo oborudovaniia, gibkikh avtomatizirovannykh stanochnykh kompleksov: Tez. dokl. nauch.- tekhn. konf. - Komsomolsk –na-Amure: KhTcNTI, 1985, s. 12-13. **9.** Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Sliednikova O.S. Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv orientoivanykh detalei profilovanymy kruhamy // Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. – Cherkasy: ChDTU. – 2016. – №4(2016). S. 72-82 **10.** Filimonov L.N. Ploskoe shlifovanie / L.N. Filimonov – L.: Mashinostroenie, 1985. – 109 s. **11.** Kalchenko V.I., Venzheha V.I. i in. Teoretychne ta eksperymentalne doslidzhennia protsesiv zniiattia prypusku, znosu kruhiv, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pid chas shlifuvannia tortsiv detalei // Tekhnichni nauky ta tekhnolohii : naukovy zhurnal / Chernihiv. nats. tekhnol. un-t. – Chernihiv : Chernih. nats. tekhnol. un-t. – 2016. – № 4 (6). – S. 25-34. **12.** Kudinov, V.A. Dinamika stankov / V.A. Kudinov. – M.: Mashinostroenie, 1967. - 359 s. **13.** Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko and others Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece // Acta mechanica et automatica, 2017. – vol.11 no.1. – pp. 58-63 . **14.** Kal'chenko V.I., Kal'chenko V.V. i in. Teoretychne ta eksperymental'ne doslidzhennia protsesiv znaiattia prypusku, znosu kruha, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pry shlifuvanni tsylindrychnykh ta stupinchatykh valiv zi skhreshchenymy osyamy detali ta kruha // Tekhnichni nauky ta tekhnolohi: naukovy zhurnal. / Chernih. nats. tekhnol. un-t. – Chernihiv : Chernih. nats. tekhnol. un-t, 2016. – 4(6). – S. 35-43. **15.** Horelov, V.A. Yssledovanye syl rezanyia v protsesse shlyfovanyia tytanovoho splava VT3-1 / V.A. Horelov, M.V. Zhuplov, D.M. Fady, M.H. Yako-vlev // Vestnyk MHTU «Stankyn». – 2012. –№1. – S. 73–77. **16.** Bratan S.M. Razrabotka matematicheskoy modeli, uchytivayushchey vliyanye otkloneniya profilya yinstrumenta na dynamiku protsesa vreznoho kombynyrovannoho shlyfovanyia / S.M. Bratan, D.A. Kaynov, N.A. Mynaev // Visnyk SevNTU. Seriya: Mashynopryladobuduvannia tatransport. – 2010. – Vyp. 111. – S. 17–25. **17.** Horelov, V.A. Yssledovanye syl rezanyia v protsesse shlyfovanyia tytanovoho splava VT3-1 / V.A. Horelov, M.V. Zhuplov, D.M. Fady, M.H. Yako-vlev // Vestnyk MHTU «Stankyn». – 2012. – 1. – S. 73–77. **18.** Dolmatov, A. K voprosu.Y formalizatsyy abrazyvnoho yinstrumenta pry poluchenyy analiticheskyykh zavysymostey dlya rascheta funktsyonal'nykh kharakterystyk protsesa shlyfovanyia / A.Y. Dolmatov, S.N. Nyzhnyk, M.A. Kuryn // Avyatsyonno-kosmycheskaya tekhnika y tekhnolohiya. – 2011. – 2. – S. 31–35. **19.** Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko and others Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece // Acta mechanica et automatica, 2017. – vol.11 no.1. – rr. 58-63 Kal'chenko V.I., Kal'chenko V.V. i in. Doslidzhennia sposobu shlifuvannia valkiv strichkoprokatnykh staniv zi skhreshchenymy osyamy instrumenta ta detali // «Visnyk Cherkas'koho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky» – Cherkasy: ChDTU, 2016. – №4(2016). – S. 80-88. **20.** Kal'chenko V.I., Kal'chenko V.V. i in. Teoretychne ta eksperymental'ne doslidzhennia protsesiv znaiattia prypusku, znosu kruha, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pry shlifuvanni tsylindrychnykh ta stupinchatykh valiv zi skhreshchenymy osyamy detali ta kruha // Tekhnichni nauky ta tekhnolohi: naukovy zhurnal. / Chernih. nats. tekhnol. un-t. – Chernihiv : Chernih. nats. tekhnol. un-t, 2016. –№4(6). – S. 35-43.